

## 明細書

## 加圧水型原子炉用MOX燃料集合体

## 技術分野

5       本発明は加圧水型原子炉（PWR）用燃料集合体に関し、特に、MOX、即ち二酸化ウランと二酸化プルトニウムの混合酸化物燃料棒を用いたMOX燃料集合体に関するものである。

## 背景技術

10       従来、PWR用のMOX燃料集合体として実用化されているのは、集合体内の相対的な燃料棒出力の最大値（集合体内出力ピーキング係数）を抑制するためにPu富化度（核分裂性プルトニウムの重量率）の異なる3種類のMOX燃料棒を用い、中心部から周辺部へ高・中・低と3段階の富化度分布を設定した、いわゆる3段階富化度分布型MOX燃料集合体である。

15       この従来の燃料集合体では、燃料集合体内の外周領域に低Pu富化度と中Pu富化度のMOX燃料棒が配置され、それらの内側領域に高Pu富化度のMOX燃料棒が配置されている。このため、原子炉の炉心内でMOX燃料集合体に隣接するUO<sub>2</sub>燃料集合体からの熱中性子がPu添加率の比較的少ない低Pu富化度及び中Pu富化度のMOX燃料棒に流れ込んできても、燃料集合体の横断面内における出力分布のバランスが良好に維持され、燃料集合体内部の出力ピーキング係数は十分に抑制可能である。これは、燃料集合体内の外周領域に配置されているMOX燃料棒ではそのPu富化度が低いし中レベルであるので出力が抑制されており、一方、燃料集合体の内側領域、即ち、外部から流れ込む熱中性子の影響が及びにくい領域にはPu添加率が比較的高い高Pu富化度のMOX燃料棒が配置されているからである。

20

25

ところが、この3段階富化度分布型MOX燃料集合体には、以下の理由により製造コストが高くなるという欠点が指摘されている。即ち、

・Pu添加率の異なる（Pu富化度の異なる）3種類のMOX燃料粉末を混合の恐れなく取り扱うための特別な設備が必要であり；

・ P u 富化度の異なる 3 種類の粉末を各々ペレットに成形し、各々個別に識別可能な燃料棒に封入する必要がある；

・ P u 富化度の異なる M O X 燃料ペレットを成形加工する度に、製造ラインを浄化（引き続くプロセスで P u 富化度の異なる M O X 燃料粉末やペレット或いはそれらの屑が混じらないように除染すること）する必要がある。

また、M O X 燃料集合体の一部に可燃毒物 U O <sub>2</sub> 燃料棒（B P 燃料棒）を配して、使用する M O X 燃料棒の P u 富化度別の種類を削減する設計も既に知られているが、この公知の設計でも 2 種類の P u 富化度の M O X 燃料棒が依然として使用されており、前述の諸問題に対する根本的な解決には至っていない。

一方、P u 添加率が固定されている一種類のみの M O X 燃料棒から構成される単一富化度型 M O X 燃料集合体を実用化するには、その P u 添加率を前述 3 段階富化度分布型 M O X 燃料集合体の平均 P u 富化度より低くし、燃料集合体全体としての中性子増倍率を、炉心内に同時に装荷される U O <sub>2</sub> 燃料集合体のそれよりも低くすることが考えられる。この場合、個々の燃料集合体内における出力ピーキング係数を十分に抑制することはできないが、M O X 燃料集合体としての中性子増倍率が低くなるため、炉心全体から見た出力ピーキング係数は、炉心の安全性を満足できる範囲内に抑えることが可能であろう。

しかしながら、このような低 P u 富化度の 1 種類の M O X 燃料集合体を採用した炉心では、U O <sub>2</sub> 燃料集合体のみからなる炉心に比べて、同一運転期間を確保するために必要な取替燃料集合体（新燃料体）の数は増加することになる。従って、必要な燃料集合体を用意するためのトータルの製造コストが高くなるという課題が依然として残されることになる。

ところで、軽水を減速材に用いた P W R の炉心に装荷される全燃料集合体数の 1 / 3 程度までを M O X 燃料集合体に置き換えて炉を運転するプルサーマル利用軽水炉では、炉心内の M O X 燃料集合体の殆ど全てが U O <sub>2</sub> 燃料集合体と隣接している。

この場合、M O X 燃料集合体では U O <sub>2</sub> 燃料集合体に比べて熱中性子の吸収効果が大きいため、M O X 燃料集合体内における中性子のエネルギースペクトルは U O <sub>2</sub> 燃料集合体内のそれに比べて硬化する傾向にあり、従って M O X 燃料集合

体においては熱中性子束のレベルも $UO_2$ 燃料集合体内のそれに比べて低くなる。このため、炉心内で隣接する $MOX$ 燃料集合体と $UO_2$ 燃料集合体の間では、 $UO_2$ 燃料集合体から $MOX$ 燃料集合体へ向かう熱中性子の流入現象が生じる。その結果、 $UO_2$ 燃料集合体に隣接する $MOX$ 燃料集合体では、外部から流入して

5 くる熱中性子に基づく核分裂が特に外周領域及びその近傍で活発になり、そのような領域に配置されている $MOX$ 燃料棒の出力が相対的に高くなる。

即ち、 $MOX$ 燃料集合体内の外周領域及びその近傍に配置されている $MOX$ 燃料棒の出力は、外部から流入してくる熱中性子束の影響で、それよりも内側の領域に配置されている $MOX$ 燃料棒の出力に比べて相対的に増加する。炉心内の個々の燃料棒の最高出力は、炉心の安全性（燃料の健全性）の観点より制限されるべきであるが、この制限を満足するためには、個々の燃料集合体内の各燃料棒毎の相対出力の最大値（燃料集合体内出力ピーキング係数）を十分に抑制する必要がある。

10

### 15 発明の開示

従って本発明の課題は、 $MOX$ 燃料集合体における個々の燃料棒の配列を適切に設計することにより、燃料集合体当たりの $Pu$ 含有量を減らす必要無しに燃料集合体内出力ピーキング係数を十分に抑制することのできる $PWR$ 用 $MOX$ 燃料集合体を提供することである。

上記の課題は、本発明によれば、1本以上の可燃毒物 $UO_2$ 燃料棒と複数本の $MOX$ 燃料棒とを $n$ 行 $n$ 列に配列した格子状配列を有し、しかも請求項1の特徴部分に記載された設計を備えた $PWR$ 用燃料集合体によって解決される。即ち、本発明による燃料集合体内に配置される $MOX$ 燃料棒は、複数本の第1 $MOX$ 燃料棒と複数本の第2 $MOX$ 燃料棒とを含む少なくとも2種類の $MOX$ 燃料棒から

20 なり、第1 $MOX$ 燃料棒は予め定められた $Pu$ 富化度及び $Pu$ 含有量を有し、第2 $MOX$ 燃料棒は第1 $MOX$ 燃料棒の $Pu$ 富化度と実質的に同一の $Pu$ 富化度及び第1 $MOX$ 燃料棒の $Pu$ 含有量とは異なる $Pu$ 含有量とを有する。

25

本発明の好適な一実施形態によれば、第1 $MOX$ 燃料棒の各々は被覆管及びその内部に装填された複数個の第1 $MOX$ 燃料ペレットを含み、第2 $MOX$ 燃料棒

はの各々被覆管及びその内部に装填された複数個の第2 MOX燃料ペレットを含み、第1 MOX燃料ペレットと第2 MOX燃料ペレットは互いにPu富化度及び高さ寸法が実質的に同一であり、ペレット重量が互いに相違している。

5 本発明の別の好適な一実施形態によれば、前記可燃毒物UO<sub>2</sub>燃料棒は前記格子状配列の四隅位置又は四隅位置とその近傍領域に配置されている。

本発明の更に別の好適な一実施形態によれば、第1 MOX燃料棒は第2 MOX燃料棒のPu含有量よりも少ないPu含有量を有し、該第1 MOX燃料棒は前記格子状配列内の外周領域又は該外周領域とその近傍領域に配置され、前記第2 MOX燃料棒は前記格子配列内における第1 MOX燃料棒の配置領域よりも内側の領域に配置されている。

10 このように、本発明によるMOX燃料集合体においては、互いにPu富化度が実質的に同じでPu含有量の異なる少なくとも2種類のMOX燃料棒が1本以上の可燃毒物UO<sub>2</sub>燃料棒と共に平行配列されてn行n列の格子配列を形成している。各燃料棒の被覆管内には、定法に従って複数個の燃料ペレットが装填されているが、可燃毒物UO<sub>2</sub>燃料棒には例えばガドリニアなどの可燃毒物が混入された複数個のUO<sub>2</sub>ペレットが装填され、MOX燃料棒には二酸化プルトニウムを含有するMOX燃料ペレットが装填されている。MOX燃料棒は少なくとも第1と第2のMOX燃料棒からなり、第1 MOX燃料棒に装填された第1 MOX燃料ペレットと第2 MOX燃料棒に装填された第2 MOX燃料ペレットは、互いにPu富化度が実質的に同一であり、Pu含有量が相互に異なっている。本発明の好適な実施形態によれば、第1 MOX燃料棒のPu含有量は第2 MOX燃料棒のPu含有量よりも少ない。尚、本発明はこのような2種類のMOX燃料棒を用いるものに限定されるものではなく、第1と第2のMOX燃料棒に加えて、これらとPu富化度が同一でPu含有量の異なる第3、第4、及びそれ以上の別のMOX燃料棒を用いても良いことは述べるまでもない。

25 本発明の好適な実施形態によるMOX燃料集合体において、第1 MOX燃料棒と第2 MOX燃料棒の各々は、被覆管内に同数個ずつ装填された高さ寸法とPu富化度の実質的に等しいMOX燃料ペレットを含んでいる。この場合、第1 MOX燃料棒に装填された第1 MOX燃料ペレットと第2 MOX燃料棒に装填された

第2 MOX燃料ペレットでは、互いにPu含有量が相違する。第1 MOX燃料ペレットと第2 MOX燃料ペレットとのPu含有量の相違は、互いのペレット重量を異なるものとすることで実現され得る。これは、例えば同一Pu富化度の原料粉末からこれらのペレットを成形する際に、いずれか一方のペレットの外径及び／又はペレット密度を他方のペレットに対して相対的に調整したり、或いはいずれか一方または双方のペレットに空孔を設け（中空ペレット）、この空孔の容積を相対的に調整する等の手法により達成することができる。このようにして、第1 MOX燃料ペレットと第2 MOX燃料ペレットの重量を互いに相違させることで相互にPu含有量の異なる複数種類のMOX燃料ペレットを得ることが可能である。この場合、MOX燃料棒の製造ラインにおいて扱う燃料物質は単一Pu富化度の同一物質であるから、ラインにおける成形ダストの回収を初めとする燃料物質の管理や工程管理が簡素となり、また複数種類のMOX燃料棒を製造するにしてもペレット成形段階に用いる成型型を別形状のものに代えたり成形圧力を調整したりするだけで容易に対応可能となるので、製造コストの増加は無視できる程度に抑制できるという利点が得られる。

本発明によるMOX燃料集合体では、可燃毒物UO<sub>2</sub>燃料棒はMOX燃料集合体内の外周領域、特にその四隅位置又は該四隅位置とその近傍領域に配置されていることが好ましい。この場合、第1 MOX燃料棒と第2 MOX燃料棒は、可燃毒物UO<sub>2</sub>燃料棒が配置されている領域以外の領域に配置されるが、これらMOX燃料棒のうちでPu含有量が相対的に少ない方のMOX燃料棒、例えば第1 MOX燃料棒は、当該MOX燃料集合体が炉心に装荷された状態でUO<sub>2</sub>燃料集合体（MOX燃料棒を含まない非MOX燃料集合体）と隣接することによって出力が高くなりがちな領域、即ち、格子配列の最外周領域とその隣接領域に配置され、残りの内側領域にPu含有量が相対的に多い方のMOX燃料棒、例えば第2 MOX燃料棒が配置される。尚、これらMOX燃料棒のPu富化度は、それらが配列されているMOX燃料集合体の中性子増倍率が、当該MOX燃料集合体と一緒に炉心内に装荷されるUO<sub>2</sub>燃料集合体の中性子増倍率に対して、炉の燃焼サイクル寿命を通じて実質的に等価となるように選ばれていることが好ましい。

先にも述べたように、MOX燃料集合体はUO<sub>2</sub>燃料集合体に比べて熱中性子

の吸収効果が大きいいため、 $\text{MOX}$ 燃料集合体内における熱中性子束のレベルは $\text{UO}_2$ 燃料集合体内のそれに比べて低く、炉心内で隣接配列されている $\text{UO}_2$ 燃料集合体から $\text{MOX}$ 燃料集合体へ熱中性子が流入してくる。

この現象に対して、本発明の好適な実施形態による $\text{MOX}$ 燃料集合体においては、炉心内で隣接する $\text{UO}_2$ 燃料集合体から流れ込んでくる熱中性子は、 $\text{MOX}$ 燃料集合体内の外周領域、特にその四隅位置又は該四隅位置とその近傍領域に配置された可燃毒物 $\text{UO}_2$ 燃料棒により吸収され、これによって、その近辺に配置されている $\text{MOX}$ 燃料棒の出力上昇が抑制される。更に $\text{MOX}$ 燃料集合体の格子配列における最外周領域とその隣接領域、即ち、隣接する $\text{UO}_2$ 燃料集合体から流れ込んでくる熱中性子束のレベルが高い領域には $\text{Pu}$ 含有量の少ない第1 $\text{MOX}$ 燃料棒が配置されているので、これらの領域においては流入する熱中性子による $\text{Pu}$ の核分裂が抑制され、その結果、集合体内出力ピーキング係数を従来の3段階富化度分布型 $\text{MOX}$ 燃料集合体と同等以下に抑えることが可能である。

本発明の上述及びその他の特徴と利点は、本発明の技術的範囲を限定する意図のない幾つかの実施例を詳述した以下の説明及びこれら実施例を模式的に示す添付図面から一層明らかとなる。

#### 図面の簡単な説明

添付図面は、本発明の典型的な幾つかの実施例を単なる例示の目的で模式的に示しており、その内、

図1は、本発明の一実施例による $\text{MOX}$ 燃料集合体における燃料棒の格子配列を示し、

図2は、本発明の別の実施例による $\text{MOX}$ 燃料集合体における燃料棒の格子配列を示し、

図3は、従来の3段階富化度分布型 $\text{MOX}$ 燃料集合体における燃料棒の格子配列の一例を示し、

図4aは、可燃毒物棒を含まない $\text{MOX}$ 燃料集合体（Case 1）における燃焼度に対する出力ピーキング係数の変化を求めるための模擬炉心体系を模式的に示し、

図4bは、可燃毒物棒を含む $\text{MOX}$ 燃料集合体（Case 2）における燃焼度対

する出力ピーキング係数の変化を求めるための模擬炉心体系を模式的に示し、

図5 aは、図4 aの模擬炉心体系に従って、図1に示したMOX燃料集合体と図3に示した典型的な3段階富化度分布型の従来のMOX燃料集合体とについて燃焼度に対する燃料集合体内の出力ピーキング係数の変化を求めた結果を示し、

5 図5 bは、図4 bの模擬炉心体系に従って、図2に示したMOX燃料集合体と図3に示した典型的な3段階富化度分布型の従来のMOX燃料集合体とについて燃焼度に対する燃料集合体内の出力ピーキング係数の変化を求めた結果を示し、

図6は、本発明の実施例によるMOX燃料集合体のPu富化度を同時に炉心に装荷されるUO<sub>2</sub>燃料集合体（平均<sup>235</sup>U濃縮度＝4.1wt%）に対して燃焼  
10 サイクル寿命を通じた燃料集合体の中性子増倍率（ $k_{\infty}$ ）が同等になるように設定した場合の、燃焼度に対する中性子増倍率（ $k_{\infty}$ ）の変化を従来のMOX燃料集合体におけるそれとの比較で示す。

#### 発明を実施するための最良の形態

15 図1は本発明の第1実施例によるMOX燃料集合体における燃料棒の格子配列（17×17）を模式的に示している。図示の通り、この実施例によるMOX燃料集合体はPWR用のものであり、4本のBP燃料棒1と、60本の第1MOX燃料棒2と、200本の第2MOX燃料棒3と、配列の中心に配置された1本の炉内計装用案内シンプル4と、配列内にほぼ均等に分布配置された24本の制御棒案内シンプル5とを備えている。BP燃料棒1は、可燃毒物としてガドリニア（Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）を二酸化ウラン（UO<sub>2</sub>）に混入して成形された複数個のBP燃料ペレットを被覆管に装填してなり、これらは格子配列の四隅位置にそれぞれ配置されている。  
20 第1MOX燃料棒2は、上記BP燃料棒1よりも直径の小さい複数個の第1MOX燃料ペレットを被覆管に装填してなり、これらは格子配列の四隅を除く外周領域に配置されている。第2MOX燃料棒3は、上記BP燃料棒1と同じ直径の複数の第2MOX燃料ペレットを被覆管に装填してなり、これらは計装用案内シンプル4及び制御棒案内シンプル5と共に上記外周領域より内側の領域に配置されている。  
25

図2は、本発明の別の実施例によるMOX燃料集合体における燃料棒の格子配列を示している。この実施例によるMOX燃料集合体が第1実施例のものと相違しているのは、17×17格子配列内の制御棒案内シンプル4のうちの4本が、二酸化ウラン等の核燃料物質を含まず、ホウ素等の中性子吸収核種から構成された可燃毒物棒（BP棒）6に置き換えられている点だけであり、その他については図1に示した構成と実質的に異なるところはない。この意味で、図2においては図1の各部に相当する要素には同一符号が付されている。

第1実施例及び第2実施例で用いた各燃料棒の主な設計仕様は以下の通りである。

・BP燃料棒1：

ペレット直径	： 8. 1 9 mm
被覆管外径	： 9. 5 0 mm
被覆管肉厚	： 0. 5 7 mm
<sup>235</sup> U濃縮度	： 2. 6 wt%
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 含有率	： 6. 0 wt%

・第1MOX燃料棒2：

ペレット直径	： 7. 4 9 mm（第1MOX燃料ペレット）
被覆管外径	： 9. 5 0 mm
被覆管肉厚	： 0. 9 2 mm
Pu富化度	： 9. 7 2 wt% Pu-total

・第2MOX燃料棒3：

ペレット直径	： 8. 1 9 mm（第2MOX燃料ペレット）
被覆管外径	： 9. 5 0 mm
被覆管肉厚	： 0. 5 7 mm
Pu富化度	： 9. 7 2 wt% Pu-total

また、第1MOX燃料棒2の第1MOX燃料ペレットと第2MOX燃料棒3の第2MOX燃料ペレットとのために共通に用いたMOX燃料粉末の組成は下記の通りである。

・ウランウム組成；

$^{235}\text{U}$  : 0.2 wt%

$^{238}\text{U}$  : 99.8 wt%

・プルトニウム組成：

$^{238}\text{Pu}$  : 1.9 wt%

$^{239}\text{Pu}$  : 57.5 wt%

$^{240}\text{Pu}$  : 23.3 wt%

$^{241}\text{Pu}$  : 10.0 wt%

$^{242}\text{Pu}$  : 5.4 wt%

$^{241}\text{Am}$  : 1.9 wt%

図3に従来の典型的な3段階富化度分布型MOX燃料集合体における燃料棒の格子配列の一例を示す。また、図4aと4bには、第1実施例によるBP棒無し  
のMOX燃料集合体（ケース1）と第2実施例によるBP棒有りのMOX燃料集  
合体（ケース2）とについて、燃焼度に対するそれぞれの出力ピーキング係数の  
変化を求めるための模擬計算体系を模式的に示す。この計算体系に従って、図1  
に示した第1実施例によるMOX燃料集合体（ケース1）又は図2に示した第2  
実施例によるMOX燃料集合体（ケース2）とについて燃焼度に対する出力ピー  
キング係数の変化を求めた結果は、同様にして求められた図3に示す従来のMO  
X燃料集合体における出力ピーキング係数変化との比較で図5aと5bに示され  
ている。

図5a及び5bに示した通り、PWR炉心を模擬した典型的な計算体系で計算  
した場合の第1及び第2実施例による各MOX燃料集合体内の出力ピーキング係  
数（図5a及び5bで実線カーブ）は、想定した燃焼度（28,200MWd/t、13.5ヶ  
月、ホウ素濃度0ppm）に達するまで図3に示した従来の3段階富化度分布型MO  
X燃料集合体の場合（図5a及び5bで破線カーブ）と同等もしくはそれ以下と  
なる。

尚、第1及び第2実施例では、各MOX燃料集合体の第1及び第2MOX燃料  
棒用のMOX燃料ペレットに共通に用いたMOX燃料粉末のPu富化度を9.7  
2 wt% Pu-totalとした。これは、例えば90万kW級の3ループPWRプラント  
で約13ヶ月を1サイクルとして運転を行う場合を想定し、その場合の燃料集

合体当たりの最大燃焼度約28,200MWd/tを目標値として、各MOX燃料集合体の中性子増倍率( $k_{\infty}$ )がUO<sub>2</sub>燃料集合体(<sup>235</sup>U濃縮度:4.1wt%)のそれに対して燃焼寿命を通じてほぼ等価となるように選んだ結果である。この場合の燃焼度(MWd/t)に対する中性子増倍率( $k_{\infty}$ )の変化を図6に示す。図6において実線カーブはMOX燃料集合体の中性子増倍率の変化を、破線カーブはUO<sub>2</sub>燃料集合体の中性子増倍率の変化をそれぞれ表す。このような設計によって、本発明によるMOX燃料集合体を炉心に装荷した場合には新たな燃料集合体数の増加を回避することができる。

尚、上述の各実施例において、BP燃料棒1のためのガドリニア混入UO<sub>2</sub>ペレットよりも直径の小さい第1MOX燃料ペレットが装填されている第1MOX燃料棒2の被覆管は他の燃料棒1及び3の被覆管よりも肉厚が大きい、被覆管の外径については全ての被覆管で同一とすると熱水力学的な不都合を生じないので好ましい。但し、第1MOX燃料棒2の被覆管を他の燃料棒1、3の被覆管よりも外径の小さいものとすることも可能である。

第1MOX燃料棒のPu含有量を第2MOX燃料棒のそれよりも少なくするやり方は、MOX燃料ペレットの直径を小さくする以外にも、MOX燃料ペレットの密度を下げたり、MOX燃料ペレットの例えば中心軸上又はその周囲に1つ以上の空孔を設けて中空ペレット又は多孔ペレットの形状に成形する等、種々の手法を採用することも可能である。

更に、第1又は第2実施例によるMOX燃料集合体では、下記の通り、いずれも燃料集合体当たりのPu装荷量が従来の3段階富化度分布型MOX燃料集合体のそれと実質的に同等である。

・従来の3段階富化度分布型MOX燃料集合体 : 約45 kg  
(Pu富化度: 約9.7wt% Pu-total)

・第1または第2実施例によるMOX燃料集合体 : 約41 kg

以上のように、本発明による単一Pu富化度型のMOX燃料集合体を用いることにより、原料としてのMOX燃料粉末のPu富化度が切り変わるたびに必要とされてきたMOX燃料製造ラインの浄化(引き続くプロセスでPu富化度の異な

るMOX燃料粉末やペレットが混じらないように除染すること)が不要となり、製造コストの大幅な低減が可能となる。しかも、原子炉での使用時の安全性、経済性は、従来の3段階富化度分布型MOX燃料と同等である。

## 請求の範囲

1. 1本以上の可燃毒物 $\text{UO}_2$ 燃料棒と複数本の $\text{MOX}$ 燃料棒とを $n$ 行 $n$ 列に配列した格子状配列を有し、前記 $\text{MOX}$ 燃料棒は複数本の第1 $\text{MOX}$ 燃料棒と複数本の第2 $\text{MOX}$ 燃料棒とを含む少なくとも2種類の $\text{MOX}$ 燃料棒からなり、第1 $\text{MOX}$ 燃料棒は予め定められた $\text{Pu}$ 富化度及び $\text{Pu}$ 含有量を有し、第2 $\text{MOX}$ 燃料棒は第1 $\text{MOX}$ 燃料棒の $\text{Pu}$ 富化度と実質的に同一の $\text{Pu}$ 富化度及び第1 $\text{MOX}$ 燃料棒の $\text{Pu}$ 含有量とは異なる $\text{Pu}$ 含有量を有することを特徴とする加圧水型原子炉用 $\text{MOX}$ 燃料集合体。

2. 第1 $\text{MOX}$ 燃料棒の各々が被覆管及びその内部に装填された複数個の第1 $\text{MOX}$ 燃料ペレットを含み、第2 $\text{MOX}$ 燃料棒の各々が被覆管及びその内部に装填された複数個の第2 $\text{MOX}$ 燃料ペレットを含み、第1 $\text{MOX}$ 燃料ペレットと第2 $\text{MOX}$ 燃料ペレットは互いに $\text{Pu}$ 富化度及び高さ寸法が実質的に同一で、ペレット重量が互いに相違していることを特徴とする請求項1による $\text{MOX}$ 燃料集合体。

3. 可燃毒物 $\text{UO}_2$ 燃料棒が前記格子状配列の四隅位置又は四隅位置とその近傍領域に配置されていることを特徴とする請求項1による $\text{MOX}$ 燃料集合体。

4. 第1 $\text{MOX}$ 燃料棒が第2 $\text{MOX}$ 燃料棒の $\text{Pu}$ 含有量よりも少ない $\text{Pu}$ 含有量を有し、該第1 $\text{MOX}$ 燃料棒は前記格子状配列内の外周領域又は該外周領域とその近傍領域に配置され、前記第2 $\text{MOX}$ 燃料棒は前記格子配列内における第1 $\text{MOX}$ 燃料棒の配置領域よりも内側の領域に配置されていることを特徴とする請求項1による $\text{MOX}$ 燃料集合体。

5. 第1 $\text{MOX}$ 燃料棒の各々は第1被覆管とその内部に装填された複数個の第1 $\text{MOX}$ 燃料ペレットを含み、第2 $\text{MOX}$ 燃料棒の各々は第2被覆管とその内部に装填された複数個の第2 $\text{MOX}$ 燃料ペレットを含み、第1 $\text{MOX}$ 燃料ペレットと第2 $\text{MOX}$ 燃料ペレットは互いに高さ寸法と $\text{Pu}$ 富化度が実質的に等しく、ペレット重量が相互に相違していることを特徴とする請求項4による $\text{MOX}$ 燃料集合体。

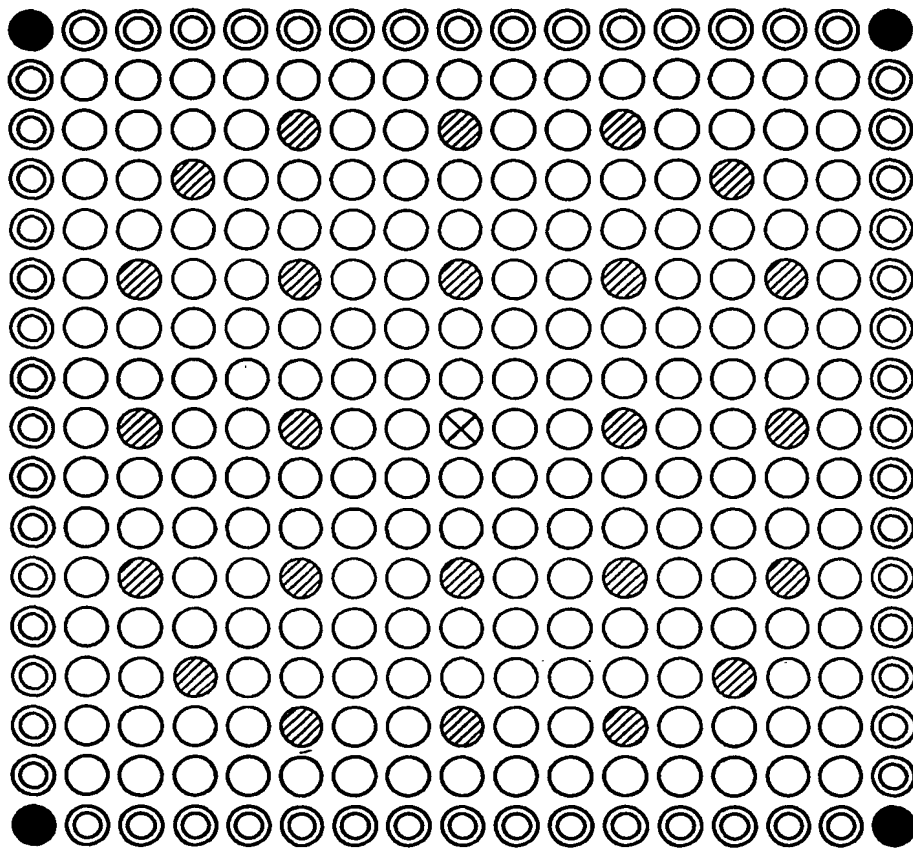
6. 第1 $\text{MOX}$ 燃料ペレットと第2 $\text{MOX}$ 燃料ペレットはペレットの外径及び／又はペレット密度が相互に相違していることを特徴とする請求項5による $\text{MO}$

X燃料集合体。

7. 第1 MOX燃料ペレットと第2 MOX燃料ペレットのいずれか一方または双方が空孔を有することを特徴とする請求項5によるMOX燃料集合体。

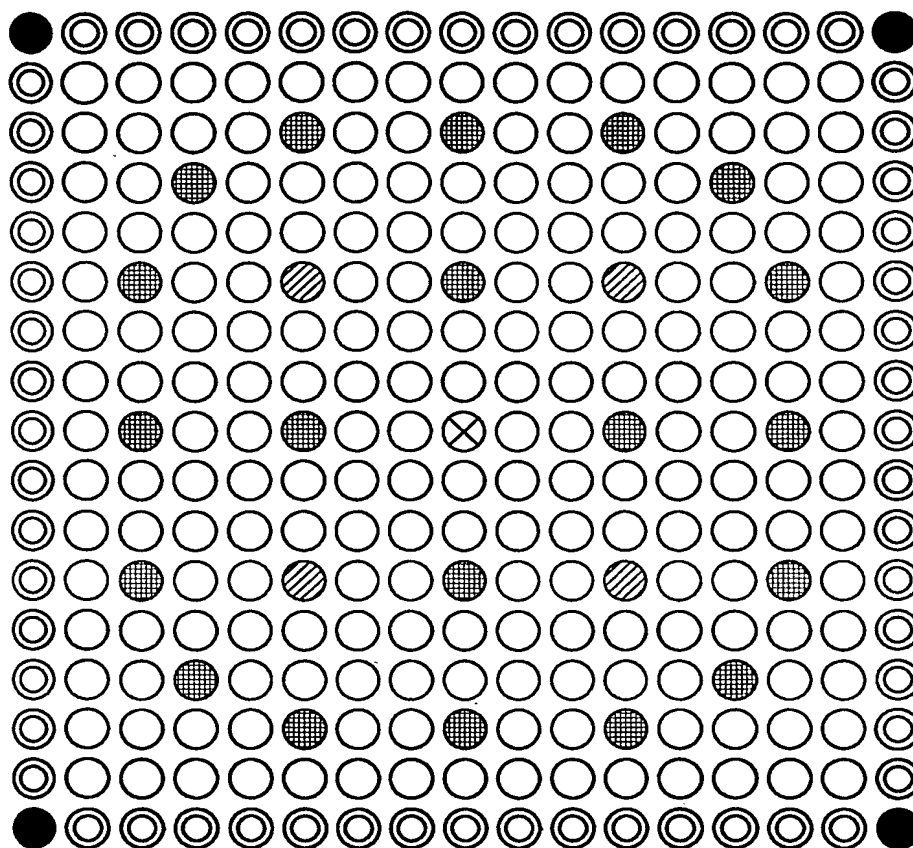
5 8.  $17 \times 17$ の格子配列 ( $n=17$ ) と、格子配列の四隅位置にそれぞれ配置された4本の可燃毒物  $UO_2$  燃料棒と、格子配列の四隅を除く4つの周辺領域にそれぞれ配置された60本の第1 MOX燃料棒と、格子配列の前記四隅位置及び周辺領域を除く内側領域にそれぞれ配置された200本の第2 MOX燃料棒と、格子配列の中心位置に配置された1本の炉内計装用案内シンプルと、格子配列の前記内側領域内にほぼ均等に分布配置された24本の制御棒案内シンプルとを備  
10 えていることを特徴とする請求項5によるMOX燃料集合体。

9. 制御棒案内シンプルのうちの4本が、核燃料物質を含まずに中性子吸収核種から構成された可燃毒物棒に置き換えられていることを特徴とする請求項8によるMOX燃料棒



- : BP-UO<sub>2</sub> FUEL ROD (1)
- ◎ : MOX FUEL ROD (2)
- : MOX FUEL ROD (3)
- ⊗ : GUIDE THIMBLE (4)
- ⊘ : GUIDE THIMBLE (5)

FIG. 1



● : BP-UO<sub>2</sub> FUEL ROD (1)

◎ : MOX FUEL ROD (2)

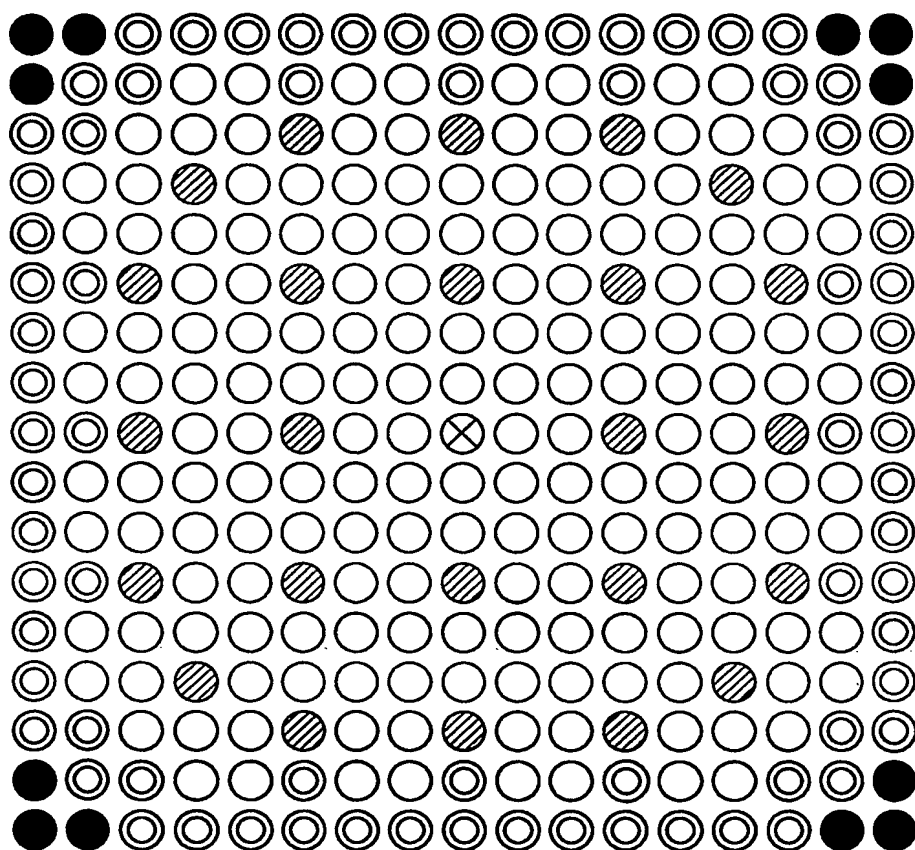
○ : MOX FUEL ROD (3)

⊗ : GUIDE THIMBLE (4)

▨ : GUIDE THIMBLE (5)

⊞ : BP ROD (6)

FIG. 2



- : Low-Pu MOX FUEL ROD  
( $\approx$  3.9 wt% Pu-total)
- ◎ : Mid-Pu MOX FUEL ROD  
( $\approx$  5.8 wt% Pu-total)
- : High-Pu MOX FUEL ROD  
( $\approx$  11.7 wt% Pu-total)
- ⊗ : GUIDE THIMBLE  
(FOR INCORE INSTRUMENTATION)
- ▨ : GUIDE THIMBLE  
(FOR CONTROL ROD)

FIG. 3

FIG. 4a

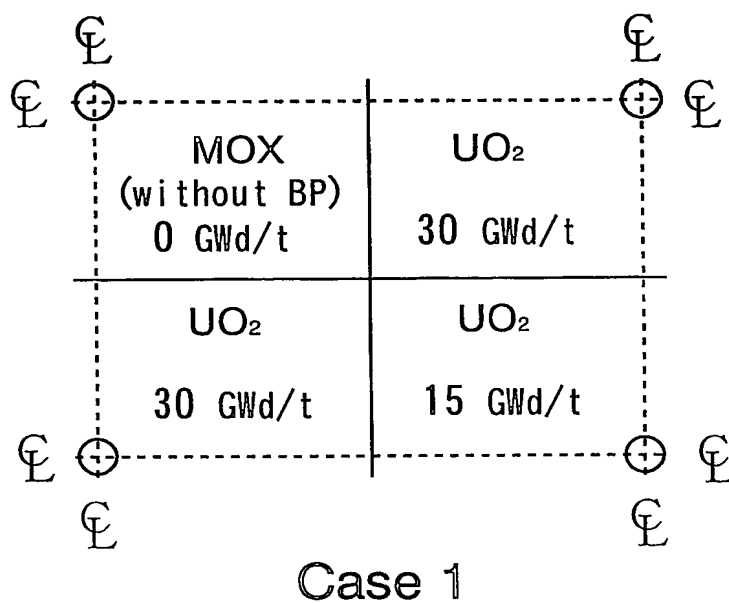


FIG. 4b

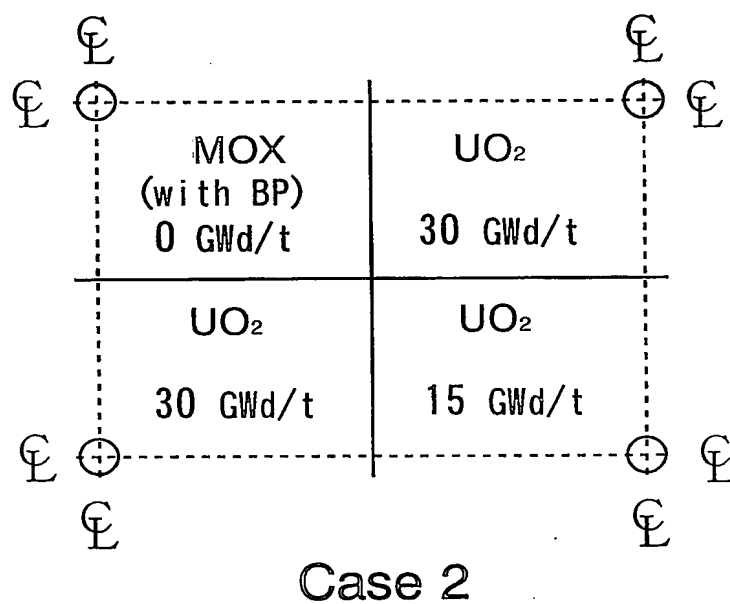


FIG. 5a

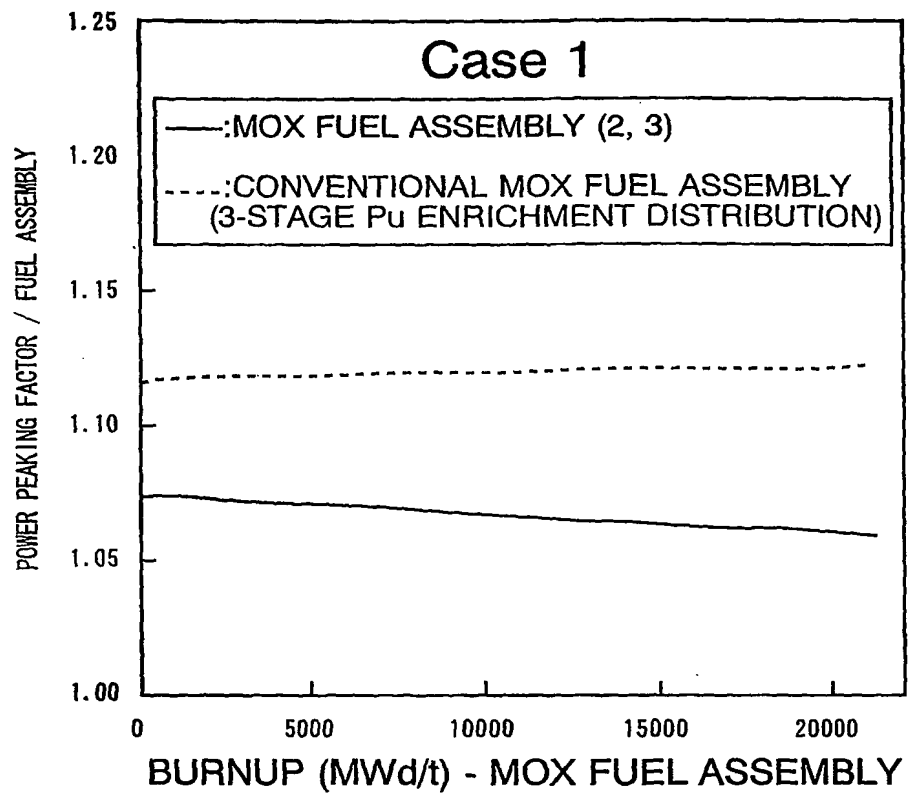
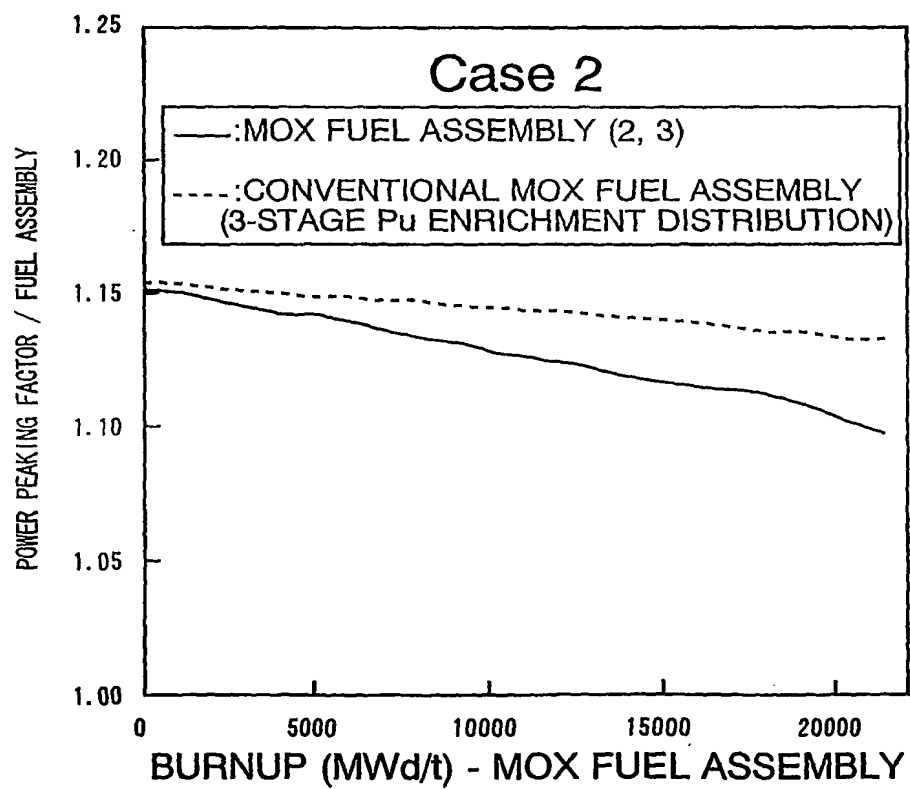


FIG. 5b



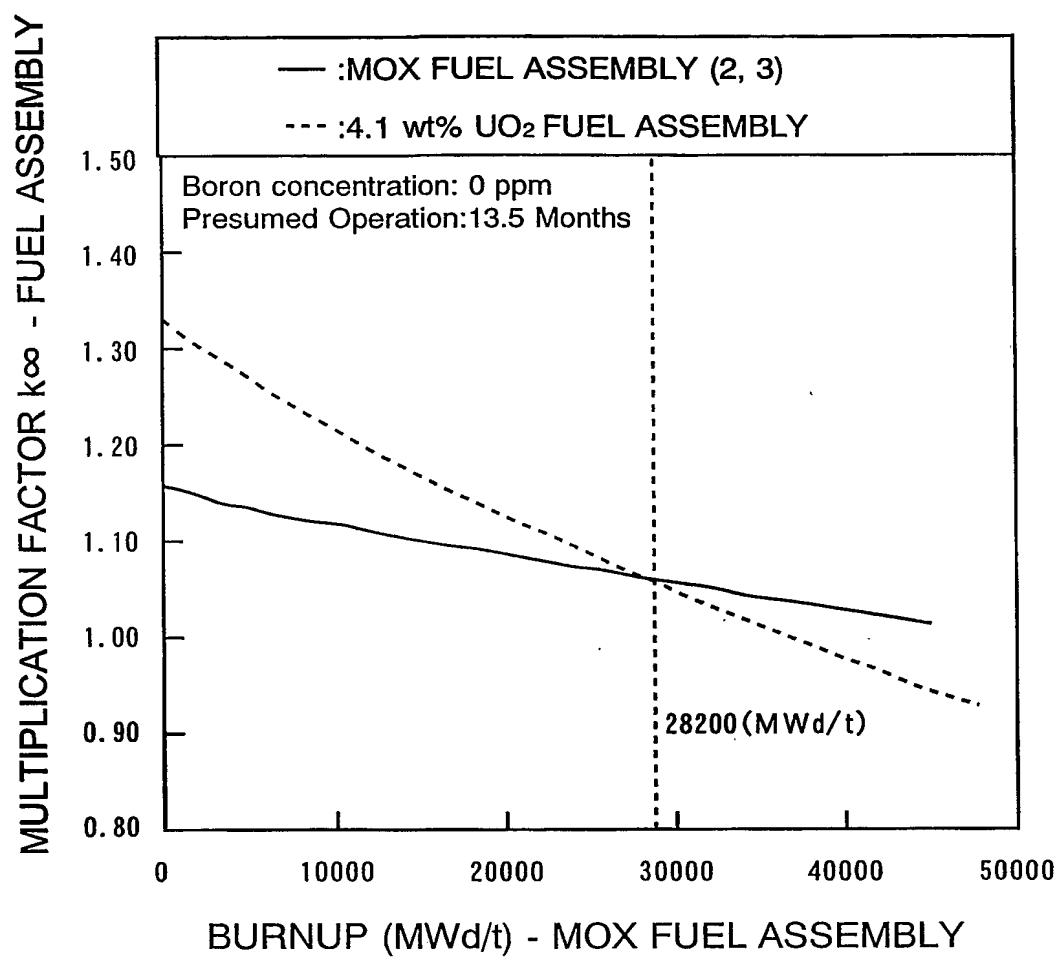


FIG. 6

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/08291

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> Int.Cl <sup>7</sup> G21C3/30		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl <sup>7</sup> G21C3/30, G21C7/117		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 01/050477 A1 (British Nuclear Fuels PLC.), 12 July, 2001 (12.07.01), Full text; all drawings & AU 2530801 A & EP 1254462 A	1-9
Y	JP 08-68886 A (Nuclear Fuel Industrial Co., Ltd.), 12 March, 1996 (12.03.96), Full text; all drawings	1-9
Y	Full text; Figs. 1, 4 (Family: none)	3
Y	JP 10-307196 A (Hitachi, Ltd.), 17 November, 1998 (17.11.98), Par. No. [0019] (Family: none)	6
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 24 September, 2003 (24.09.03)		Date of mailing of the international search report 07 October, 2003 (07.10.03)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/08291

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 62-24183 A (Mitsubishi Genshiryoku Kogyo Kabushiki Kaisha), 02 February, 1987 (02.02.87), Page 2, upper left column, lines 15 to 20; Fig. 5 (Family: none)	7
Y	JP 60-117181 A (Hitachi, Ltd.), 24 June, 1985 (24.06.85), Full text; all drawings (Family: none)	9
Y	JP 08-86894 A (Nuclear Fuel Industrial Co., Ltd.), 02 April, 1996 (02.04.96), Full text; all drawings (Family: none)	1-9
Y	JP 08-201555 A (Kabushiki Kaisha Genshiryoku Engineering et al.), 09 August, 1996 (09.08.96), Full text; all drawings (Family: none)	1-9
Y	JP 59-132389 A (Nippon Genshiryoku Jigyo Kabushiki Kaisha), 30 July, 1984 (30.07.84), Full text; all drawings (Family: none)	7
A	JP 5-164869 A (Hitachi, Ltd.), 29 June, 1993 (29.06.93), Full text; all drawings (Family: none)	6
A	JP 61-223582 A (Hitachi, Ltd.), 04 October, 1986 (04.10.86), Page 7, lower left column, line 10 to lower right column, line 9; Fig. 6 & EP 196655 A1	1-9

## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/JPO3/08291

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G21C3/30

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G21C3/30, G21C7/117

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2003年

日本国登録実用新案公報 1994-2003年

日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	WO 01/050477 A1 (British Nuclear Fuels PLC) 2001.07.12 全文、全図 &AU 2530801 A &EP 1254462 A	1-9
Y	JP 08-68886 A (原子燃料工業株式会社) 1996.03.12 全文、全図	1-9
Y	全文、図1, 4 (ファミリーなし)	3

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

24.09.03

国際調査報告の発送日

07.10.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

今浦 陽恵



2M

2906

電話番号 03-3581-1101 内線 6496

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 10-307196 A (株式会社日立製作所) 1998. 11. 17 段落番号【0019】 (ファミリーなし)	6
Y	J P 62-24183 A (三菱原子力工業株式会社) 1987. 02. 02 第2頁左上欄第15行目乃至第20行目、第5図 (ファミリーなし)	7
Y	J P 60-117181 A (株式会社日立製作所) 1985. 06. 24 全文、全図 (ファミリーなし)	9
Y	J P 08-86894 A (原子燃料工業株式会社) 1996. 04. 02 全文、全図 (ファミリーなし)	1-9
Y	J P 08-201555 A (株式会社原子力エンジニアリン グ 外1名) 1996. 08. 09 全文、全図 (ファミリーなし)	1-9
Y	J P 59-132389 A (日本原子力事業株式会社) 1984. 07. 30 全文、全図 (ファミリーなし)	7
A	J P 5-164869 A (株式会社日立製作所) 1993. 06. 29 全文、全図 (ファミリーなし)	6
A	J P 61-223582 A (株式会社日立製作所) 1986. 10. 04 第7頁左下欄第10行目乃至右下欄9行目、第6図 &EP 196655 A1	1-9